

CLIPPEDIMAGE= JP405142140A

PAT-NO: JP405142140A

DOCUMENT-IDENTIFIER: JP 05142140 A

TITLE: METHOD FOR CALCULATING DEPTH OF PITTING CORROSION

PUBN-DATE: June 8, 1993

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

IIMURA, AKIRA

OTAKA, HIDEO

HIRANO, SHOEI

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME	COUNTRY
KURITA WATER IND LTD	N/A

APPL-NO: JP03306055

APPL-DATE: November 21, 1991

INT-CL (IPC): G01N017/00;G01N027/26

ABSTRACT:

PURPOSE: To accurately and nondestructively estimate the depth of pitting corrosion caused by local corrosion by installing a plurality of monitoring device to heat exchangers or pipelines and subjecting the current value of each monitoring device to an extremal statistic process.

CONSTITUTION: Local monitors are respectively provided at the downstream joints

1B-3B of liquid sump sections of sample tubes 1-3. The local monitors are respectively provided with sensor sections 1a-3a and ammeters 1c-3c. Then testing water contained in a testing water tank 10 is circulated through a pipeline 18, tube 1, pipeline 20, tube 2, pipeline 22, tube 3, and pipeline 24 by means of a pump 18A by adjusting the flowing speed of the testing water in the tubes 1-3 to prescribed values by means of a flow meter 18C. Thus anode

currents flowing to the lead wires 1b-3b of the local corrosion monitors are measured with the ammeters 1c-3c. When estimated depths of pitting corrosion

found from a model formula of pitting corrosion by using the measured anode current values are subjected to extremal statistics, the maximum depth of pitting corrosion can be estimated.

COPYRIGHT: (C)1993,JPO&Japio

\* NOTICES \*

**Japan Patent Office is not responsible for any damages caused by the use of this translation.**

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. \*\*\*\* shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application] this invention relates to the pitting depth calculation method, and it relates a heat exchanger or the pitting (pervasion) depth by the localized corrosion of piping to the pitting depth calculation method computable with a sufficient precision by un-destroying especially, without stopping operation of the facility concerned and water flow.

[0002]

[Description of the Prior Art] Since the unexpected situations, such as a plant operation halt, may be produced when a localized corrosion advances in piping, a heat exchanger, etc. and the increase of the pitting depth and it result in penetration, the technology of presuming the depth of a localized corrosion, i.e., pitting, is searched for.

[0003] Conventionally, a heat exchanger or the pitting depth of piping stopped operation of the facility concerned and water flow, sampled the part, and presumed it by measuring the pitting depth of a sample.

[0004] However, by the above-mentioned conventional method, since it must destroy in order to stop operation of a facility and to sample the part, there is a fault of affecting operation of works. And there is also a fault that great time, an effort, and costs will start before a measurement result comes out.

[0005] By solving such a fault and acting as the monitor of the speed of advance of a metalized localized corrosion the metal which touches a drainage system medium as a method of presuming the pitting depth -- it being the method of acting as the monitor of the localized corrosion of a member, and with this drainage system medium and the reservoir which is open for free passage through a stoma It has the aforementioned metal member and the piece of a metal of this quality of the material which were prepared so that the liquid in this reservoir might be touched. A monitoring device with a larger area of the field which touches the liquid in the aforementioned reservoir of this piece of a metal than the effective-area product of the aforementioned stoma is used. measuring the current which this piece of a metal and the aforementioned metal member are contacted electrically, and flows among both -- a metal -- there is the method of carrying out the monitoring of the localized corrosion of a member

(JP,2-310452,A)

[0006] Below, the monitoring method of JP,2-310452,A is explained with reference to drawing 2.

[0007] usually, a metal -- by formation of an oxygen concentration cell, the potential difference of a metalized dissolution portion (anode) and the portion (cathode) in which the oxygen reduction reaction of the circumference of it occurs serves as driving force, and the localized corrosion of a member advances

[0008] by the method of JP,2-310452,A, it is shown in drawing 2 -- as -- the metal concerned -- the piece 32 of a metal of the same quality of the material as a member 30 is arranged inside a reservoir 34, and the state of a localized corrosion is made in simulation in a reservoir 34 and the metal used as a cathode -- the current which flows when a member 30 and the piece 32 of a metal are electrically connected with lead wire 36 is measured with an ammeter 38, and the speed of advance, the pervasion depth, etc. of a localized corrosion are presumed from the current value In addition, in drawing 2, 40 is liquid junction and S is a corrosion product.

[0009] this method -- as follows -- a localized corrosion (pitting) -- an analog -- it is originated based on the consideration to the advance model of the localized corrosion of progressing to a \*\* In this case, the amount A of localized corrosion in Time t is expressed like following the (1) formula. In addition, Vt is the volume inside the localized corrosion in Time t, and rho is metalized density.

[0010]

A=V (t) rho -- (1)

By the way, according to Faraday's law, the amount B of corrosion inside a localized corrosion can be calculated from current value as follows.

[0011]

[Equation 1]

$$B = \int_0^t \frac{\frac{I(t)}{A} \times S(t) \times M}{n \times F} dt$$

$$I(t) / A = i(t) \text{ とおくと}$$

$$B = \int_0^t \frac{i(t) \times S(t) \times M}{n \times F} dt \quad \dots (2)$$

[0012] Here, the sign is as follows.

[0013]

I(t): Current which is flowing to the piece of a metal trial in Time t [A]

S(t): The internal-surface product except the aperture of the localized corrosion in Time t [mm<sup>2</sup>]

M : a metalized mol weight [mg/mol]

n : electron number F of a reaction in case a metal dissolves : Faraday-constant [96,500 C/mole] i(t): Current density which is flowing to the piece of a metal trial [A/mm<sup>2</sup>]

A : the surface area of the piece wetted part of a metal trial [mm<sup>2</sup>]

Since it is A=B, following the (3) formula is obtained from (1) and (2) formulas, and (3)' formulas are obtained from (3) formulas.

[0014]

[Equation 2]

$$V(t) = \frac{S(t) \times M}{n \times F} \int_0^t i(t) dt \quad \dots (3)$$

$$\frac{V(t)}{S(t)} = \frac{M}{\rho \times n \times F} \int_0^t i(t) dt \quad \dots (3)'$$

[0015] If it assumes that a localized corrosion advances in a similarity configuration, V(t)/S(t) will become the linear function of pervasion depth d(t). Then, if it sets with V(t)/S(t)=K-d(t), it will become following the (4) formula.

[0016]

[Equation 3]

$$d(t) = \frac{M}{K \times \rho \times n \times F} \int_0^t i(t) dt \quad \dots (4)$$

[0017] During the predetermined period, a monitoring device is set to an actual drainage system, and current value and maximum of the pervasion depth are surveyed in this state. It asks for K by substituting this actual measurement for (4) formulas, and calculating it. By (4) formulas which substituted this K value, or the following (5) formulas, the monitoring of the corrosion can be carried out using the monitoring device concerned. The speed of advance of a localized corrosion is given with the differentiated type of (4) formulas, and is expressed with the following formula.

[0018]

[Equation 4]

$$\frac{d(t)}{dt} = \frac{i(t) \times M}{K \times \rho \times n \times F} [\text{mm/sec}] \quad \dots (5)$$

[0019] According to the method of above-mentioned JP,2-310452,A, it is supposed that it is possible to presume pitting on real time by un-destroying, without stopping operation of a facility.

[0020]

[Problem(s) to be Solved by the Invention] However, by the method of JP,2-310452,A, since it is what asks for the pitting depth directly from the anode current obtained by the monitoring device using a short test tube, for piping from which the heat exchanger of various sizes and length differ, the actual pitting depth may differ sharply to the obtained measured value.

[0021] this invention raises the precision of measured value sharply in the method of above-mentioned JP,2-310452,A, and it aims at offering the pitting depth calculation method which can compute the actual pitting depth correctly.

[0022]

[Means for Solving the Problem] The reservoir which the pitting depth calculation method of this invention is the method of computing the heat exchanger which touches a drainage system medium, or the pitting depth of piping, and is open for free passage through this drainage system medium and a stoma, It has the aforementioned metal member and the piece of a metal of this quality of the material which were prepared so that the liquid in this reservoir might be touched. A monitoring device with a larger area of the field which touches the liquid in the aforementioned reservoir of this piece of a metal than the effective-area

product of the aforementioned stoma is used. In the pitting depth calculation method of a member the metal by measuring the current which this piece of a metal and the aforementioned metal member are contacted electrically, and flows among both -- It is characterized by asking for this heat exchanger or the pitting depth of piping by forming two or more aforementioned monitoring devices in a heat exchanger or piping, and carrying out extremal-value statistics processing of the current value of each monitoring device.

[0023] That is, this invention raises the precision of measured value sharply by using the specific analysis technique for data analysis in the measuring method of the pitting depth of JP,2-310452,A.

[0024]

[Function] The range of current changes with the conductivity of the water to pass, the polarization resistance of a monitor (piece 32 of a metal), and a counter electrode tube (metal member 30), tube diameters, etc. in a localized-corrosion monitor as shown in drawing 2. For example, current range is about 1 to 13 times of a tube diameter in the usual cooling water system.

[0025] Now, a pitting configuration is made into a semi-sphere (radius r), and when pitting advances in the shape of a concentric circle, the radius r is equivalent to the maximum pitting depth of the section a localized-corrosion monitor's current range.

[0026] For this reason, the value of r which can be found from the anode amperometry value between two or more localized-corrosion monitors and a counter electrode tube shows statistical variation.

[0027] Therefore, presumed precision improves sharply by calculating the heat exchanger for presumption, and the extremal value of the pitting depth of piping using the technique of extremal-value statistics, and presuming the heat exchanger concerned or the maximum pitting depth of piping from the value of r for which two or more localized-corrosion monitors ask.

[0028] In addition, the sample size used for extremal-value statistics is taken equally to a localized-corrosion monitor's current range, and computes a recursive period.

[0029] In addition, extremal-value statistics are the statistical technique which predicts the phenomenon of a bigger system than real piping's etc. based on the variation in two or more data obtained about phenomena, such as pitting which appeared in minute portions, such as a test piece.

[0030] In the case of this invention, it is specifically \*\*\*\* about the following procedure.

(1) Measure the maximum pitting depth about n of a sample (length am) (2 X1, X ..... Xn).

(2) Measure or investigate a system heat exchanger or the length (bm) of piping.

(3) Ask for the maximum pitting depth (extremal value : Xmax) it is expected in [ all ] measuring object area that existence is by carrying out probability statistics processing of the data.

$$X_{\text{max}} = \lambda + \alpha \ln(b/a)$$

$\lambda = \sigma a_1 X_1$ ,  $\alpha = \sigma b_1 X_1$  (here, a1 and b1 are coefficients given in a MVLUE coefficient table.)

[0031]

[Example] An example is given to below and this invention is concretely explained to it.

[0032] It examined using the testing device shown in example 1 drawing 1. In drawing 1, 10 is an examination tank (100 liter \*\*), 12 is a distilled water tank (200 liter \*\*), and the examination water in a distilled water tank 12 is fed by the examination tank 10 through the piping 14 equipped with pump 14A. 16 is the overflow pipe of the examination tank 10.

[0033] 1, 2, and 3 were sample tubes, they prepared Joint 1A, 1B, and 2A, 2B, and 3A and 3B in both ends, respectively, and they connected them in series for piping 18 and piping 20, 22, and 24 equipped with pump 18A, bulb 18B, and flowmeter 18C so that the examination water in the examination tank 10 might circulate. The localized-corrosion monitor was formed in joint 1B of a downstream, 2B, and 3B among the reservoirs prepared in each sample tubes 1, 2, and 3, respectively. Each localized-corrosion monitor is considered as the composition shown in drawing 2. Namely, the sensor sections 1a, 2a, and 3a which consist of a piece of a metal respectively prepared in joint 1B, 2B, and 3B so that the polar zone might serve as facing up. It mainly consists of lead wire 1b, 2b, and 3b which connects these sensor sections 1a, 2a, and 3a and the sample tubes 1, 2, and 3, and ammeters 1c, 2c, and 3c formed in each lead wire 1b, 2b, and 3b. \*\* is given to the measurement data of the 1st monitoring device formed in below at the sample tube 1, \*\* is given to the measurement data of the 2nd monitoring device formed in the sample tube 2, and \*\* is given to the measurement data of the 3rd monitoring device formed in the sample tube 3.

[0034] In addition, each sample tubes 1, 2, and 3 were the things with a length of 1m, an outer diameter [ of 19mm ], and a thickness of 2mm made from STB-35, after they carried out degreasing processing with toluene beforehand, by using sodium hexametaphosphate as a total phosphorus acid, let flow the anticorrosives which use 100 mg/l and zinc salt as zinc, and contain them 20 mg/l for 24 hours, and gave the foundation treatment, respectively.

[0035] Moreover, examination water is synthetic water which comes to blend 1. with the water of the following water quality inmg [ 7 / ] by using the 1-hydroxy ethylidene -1 and 1-diphosphonic acid as a total phosphorus acid.

Examination water water quality M alkalinity = 150 mg-CaCO<sub>3</sub>/l calcium hardness = 250 mg-CaCO<sub>3</sub>/l magnesium hardness = 100 mg-MgCO<sub>3</sub> / lSiO<sub>2</sub> 100 mg/l Concentration = by such testing device It adjusts so that the rate of flow in the sample tubes 1 and 2 and 3 may serve as 0.3 m/sec by flowmeter 18C. by pump 18A The examination water in the examination tank 10 (water temperature of 30 degrees C) was circulated through piping 18, the sample tube 1, piping 20, the sample tube 2, piping 22, the sample tube 3, and piping 24. In addition, from the distilled water tank 12, make up water (examination water and this water quality) was supplied to the examination tank 10 from piping 14 by pump 14A so that the residence time might turn into 120 hours. The examination tank 10 was made into the structure overflowed from an overflow pipe 16 when make up water entered.

[0036] Thus, the anode current which flows each localized-corrosion monitor's lead wire 1b, 2b, and 3b was measured over 60 days with Ammeters 1c, 2c, and 3c, respectively. A measurement result is shown in drawing 3.

[0037] Moreover, the pitting depth estimate which substituted and asked the pitting model formula for the anode amperometry value according to the method of aforementioned JP,2-310452,A from the above-mentioned measurement result is shown in drawing 4.

[0038] The maximum pitting depth was computed by on the other hand carrying out the extremal-value statistics of the estimate of the pitting depth obtained from each monitor. Extremal-value statistics were calculated using commercial software (Japan Society of Corrosion Engineering editorial supervision "EVAN"). The amount presumption of the maximum pervasion-Gumbel probability-paper plot at this time is as being shown in drawing 5.

[0039] In addition, each set point is shown below.

y: Double index maximum distribution normalization variable  $F(y)$  : accumulation probability =  $e(-e(-y))$

T: presumed distribution straight-line  $y=(X-\lambda)/\alpha$ ;  $\lambda=0.17699$ ,  $\alpha=0.09218$ , consequently the recursive period  $T=30$  of the amount of the maximum pitting in recursive period L1:1 sample -- the amount mode point value of the system presumption maximum pervasion -- the value of  $X_{max}=0.48896mm$  was acquired

[0040] This value was plotted to drawing 4 with the actual measurement (0.40mm) of the maximum pitting depth. Moreover, the comparison result of each value is shown in Table 1.

[0041]

[Table 1]

推定法	推定値(mm)	実測値(mm)	推定値の誤差(%)	
従来法 ※	モニター① モニター② モニター③ ①～③の平均値	0.135 0.309 0.239 0.228	0.40	-66.3 -22.8 -40.3 -56.1
本発明法	0.489			22.3

### ※特開平2-310452号の方法

[0042] The following thing is clear from the above result. That is, by the method of JP,2-310452,A, the estimate of the pitting depth has 0.135-0.309mm and large variation, and has -66.3--22.8% (an average of -56.1%) and gross errors to the actual measurement of 0.40mm of the maximum pitting depth.

[0043] On the other hand, the estimate obtained by carrying out extremal-value statistics processing of the estimate of the pitting depth calculated from a localized-corrosion monitor's [ two or more (this example three pieces) ] anode amperometry value according to this invention method is 0.489mm, and was able to be presumed with +22.3% of small error to the actual measurement of 0.40mm.

[0044]

[Effect of the Invention] It is supposed that it is possible to presume the pitting depth by this heat exchanger or the localized corrosion of piping with a sufficient precision by un-destroying without stopping operation of a heat exchanger or piping, and water flow according to the pitting depth calculation method of this invention as explained in full detail above.

[0045] According to the method of this invention, since the advance situation of pitting can be presumed easily [ in real time ] and correctly on stream [ the facility concerned ] by computing the pitting depth correctly, the input of a \*\* proper medicine is controlled, and advance of a localized corrosion can be suppressed.

\*\* Presumption of life expectancy is attained from the advance situation of a localized corrosion.

\*\* The inspection at the time of shutdown becomes unnecessary.

\*\* Penetration / disclosure accident by the localized corrosion can be beforehand prevented now.

the effect of \*\* does so -- having -- various plant safeties, stable operation, and metal equipment -- it is supposed that it is possible to aim at extension of the life of a member

[Translation done.]

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平5-142140

(43)公開日 平成5年(1993)6月8日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup> 識別記号 序内整理番号  
G 0 1 N 17/00 8506-2 J  
27/26 3 5 1 K 7235-2 J

F I

技術表示箇所

**審査請求 未請求 請求項の数 1(全 6 頁)**

(21)出願番号 特願平3-306055  
(22)出願日 平成3年(1991)11月21日

(71)出願人 000001063  
栗田工業株式会社  
東京都新宿区西新宿3丁目4番7号

(72)発明者 飯村 晶  
東京都新宿区西新宿3丁目4番7号 栗田  
工業株式会社内

(72)発明者 大▲高▼ 秀夫  
東京都新宿区西新宿3丁目4番7号 栗田  
工業株式会社内

(72)発明者 平野 昭英  
東京都新宿区西新宿3丁目4番7号 栗田  
工業株式会社内

(74)代理人 弁理士 重野 剛

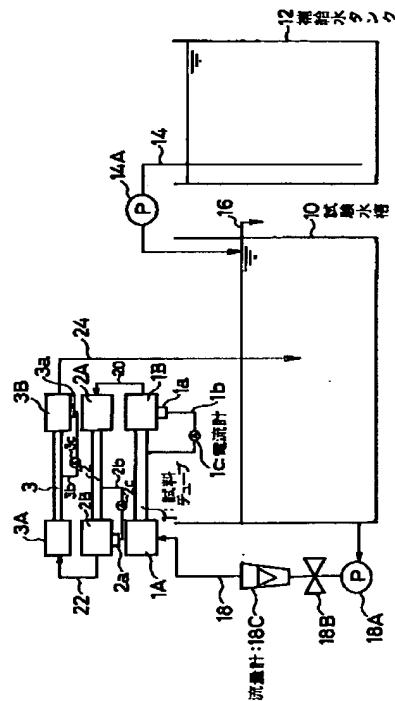
(54)【発明の名称】 孔食深さ算出方法

(57) 【要約】

【目的】 热交換器や配管の局部腐食による孔食深さを、運転、通水を休止することなく、非破壊にて精度良く推定する。

【構成】 热交換器又は配管に複数の前記モニター装置を設け、各モニター装置の電流値より求められる孔食深度の推定値を極値統計処理する。

【効果】 孔食モニター装置で得られたデータの極値統計処理により、孔食深さを、高精度に算出することが可能とされる。



1

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 水系媒体に接する熱交換器又は配管の孔食深さを算出する方法であって、該水系媒体と小孔を介して連通する液溜部と、該液溜部内の液と接するように設けられた前記金属部材と同材質の金属片とを備え、該金属片の前記液溜部内の液と接する面の面積が前記小孔の開口面積よりも大きいモニター装置を用い、該金属片と前記金属部材とを電気的に接触させて、両者の間に流れる電流を測定することによる金属部材の孔食深さ算出方法において、熱交換器又は配管に複数の前記モニター装置を設け、各モニター装置の電流値を極値統計処理することにより、該熱交換器又は配管の孔食深さを求ることを特徴とする孔食深さ算出方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】本発明は孔食深さ算出方法に係り、特に、熱交換器又は配管の局部腐食による孔食（侵食）深さを、当該設備の運転、通水を休止することなく、非破壊にて精度良く算出することができる孔食深さ算出方法に関する。

## 【0002】

【従来の技術】配管や熱交換器などにおいて局部腐食が進行して孔食深さが増し、それが貫通に至るとプラントの操業停止など不測の事態を生ずることがあるため、局部腐食、即ち孔食の深さを推定する技術が求められている。

【0003】従来、熱交換器又は配管の孔食深さは、当該設備の運転、通水を休止してその一部をサンプリングし、サンプルの孔食深さを測定することにより推定していた。

【0004】しかしながら、上記従来の方法では、設備の運転を休止し、かつその一部をサンプリングするためには破壊しなければならないことから、工場の操業に影響を及ぼすという欠点がある。しかも、測定結果が出るまでに多大の時間、労力、費用がかかるという欠点もある。

## 【0005】このような欠点を解決し、金属の局部腐食\*

$$B = \int_0^t \frac{\frac{I(t)}{A} \times S(t) \times M}{n \times F} dt$$

$I(t) / A = i(t)$  とおくと

$$B = \int_0^t \frac{i(t) \times S(t) \times M}{n \times F} dt \quad \dots (2)$$

【0012】ここで、記号は次の通りである。

## 【0013】

$I(t)$ :時間  $t$  において金属試片に流れている電流 [A]

$S(t)$ :時間  $t$  における局部腐食の開孔部を除く内表面積 [ $\text{mm}^2$  ]

2

\*の進行速度をモニターすることにより、その孔食深さを推定することが可能な方法として、水系媒体に接する金属部材の局部腐食をモニターする方法であって、該水系媒体と小孔を介して連通する液溜部と、該液溜部内の液と接するように設けられた前記金属部材と同材質の金属片とを備え、該金属片の前記液溜部内の液と接する面の面積が前記小孔の開口面積よりも大きいモニター装置を用い、該金属片と前記金属部材とを電気的に接触させて、両者の間に流れる電流を測定することにより金属部材の局部腐食をモニタリングする方法がある（特開平2-310452号）。

【0006】以下に、特開平2-310452号のモニタリング方法について図2を参照して説明する。

【0007】通常、金属部材の局部腐食は酸素濃淡電池の形成により、金属の溶解部分（アノード）とその周辺の酸素還元反応の起こる部分（カソード）との電位差が駆動力となって進行する。

【0008】特開平2-310452号の方法では、図2に示す如く、当該金属部材30と同一材質の金属片32を液溜部34の内部に配置して液溜部34内に模擬的に局部腐食の状態を作る。そして、カソードとなる金属部材30と金属片32とをリード線36で電気的に接続した時に流れる電流を電流計38で測定し、その電流値から局部腐食の進行速度及び侵食深さなどを推定する。なお、図2において、40は液路部、Sは腐食生成物である。

【0009】この方法は次のように局部腐食（孔食）が相似形状に進むという局部腐食の進行モデルに対する考察に基いて創案されたものである。この場合、時間  $t$  における局部腐食量  $A$  は、下記（1）式の如く表わされる。なお、 $V_t$  は時間  $t$  における局部腐食内部の体積であり、 $\rho$  は金属の密度である。

$$A = V(t) \rho \quad \dots (1)$$

ところで、ファラデーの法則によると、次のように局部腐食内部の腐食量  $B$  を電流値から求めることができる。

## 【0011】

## 【数1】

$$B = \int_0^t \frac{\frac{I(t)}{A} \times S(t) \times M}{n \times F} dt$$

※M : 金属のモル重量 [mg/mole]

n : 金属が溶解するときの反応の電子数

F : ファラデー定数 [96,500C/mole]

i(t) : 金属試片に流れている電流密度 [A/mm<sup>2</sup> ]

※50 A : 金属試片接液部の表面積 [mm<sup>2</sup> ]

3

4

$A=B$ であるから、(1)、(2)式より、下記(3)式が得られ、(3)式より(3)'式が得られる。 \* 【数2】

$$V(t) \rho = \frac{S(t) \times M}{n \times F} \int_0^t i(t) dt \dots (3)$$

$$\frac{V(t)}{S(t)} = \frac{M}{\rho \times n \times F} \int_0^t i(t) dt \dots (3)'$$

【0015】局部腐食が相似形状に進行すると仮定すれば、 $V(t)/S(t)$ は侵食深さ  $d(t)$  の一次関数 10 【0016】

となる。そこで、 $V(t)/S(t) = K \cdot d(t)$  と※ 【数3】

$$d(t) = \frac{M}{K \times \rho \times n \times F} \int_0^t i(t) dt \dots (4)$$

【0017】所定の期間、モニター装置を実際の水系にセットし、この状態で電流値と侵食深さの最大値を実測する。この実測値を(4)式に代入し演算することによりKを求める。このK値を代入した(4)式又は次の

(5)式により、当該モニター装置を用いて腐食をモニ★

$$\frac{d(t)}{dt} = \frac{i(t) \times M}{K \times \rho \times n \times F} [mm/sec] \dots (5)$$

【0019】上記特開平2-310452号の方法によれば、設備の運転を休止することなく、非破壊にて孔食をリアルタイムで推定することが可能とされる。

#### 【0020】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、特開平2-310452号の方法では、短いテストチューブを用いるモニター装置により得られたアノード電流から直接に孔食深さを求めるものであるため、得られた測定値に対して、様々な大きさの熱交換器や長さの異なる配管では、実際の孔食深さが大幅に異なることがある。

【0021】本発明は上記特開平2-310452号の方法において、測定値の精度を大幅に高め、実際の孔食深さを正確に算出し得る孔食深さ算出方法を提供することを目的とする。

#### 【0022】

【課題を解決するための手段】本発明の孔食深さ算出方法は、水系媒体に接する熱交換器又は配管の孔食深さを算出する方法であって、該水系媒体と小孔を介して連通する液溜部と、該液溜部内の液と接するように設けられた前記金属部材と同材質の金属片とを備え、該金属片の前記液溜部内の液と接する面の面積が前記小孔の開口面積よりも大きいモニター装置を用い、該金属片と前記金属部材とを電気的に接触させて、両者の間に流れる電流を測定することによる金属部材の孔食深さ算出方法において、熱交換器又は配管に複数の前記モニター装置を設け、各モニター装置の電流値を極値統計処理することにより、該熱交換器又は配管の孔食深さを求めることを特徴とする。

【0023】即ち、本発明は特開平2-310452号☆50

★タリングすることができる。局部腐食の進行速度は(4)式の微分形で与えられ次式で表わされる。

#### 【0018】

【数4】

☆の孔食深さの測定方法において、データ解析に特定の解析手法を用いることにより、測定値の精度を大幅に高めたものである。

#### 【0024】

【作用】図2に示されるような局部腐食モニターにおいて、電流の到達距離は通過する水の電気伝導率やモニター（金属片32）及び対極チューブ（金属部材30）の分極抵抗、管径等により変化する。例えば、電流到達距離は、通常の冷却水系では管径の1~13倍程度である。

【0025】今、孔食形状を半球（半径  $r$ ）とし、孔食は同心円状に進行するとした場合、その半径  $r$  は局部腐食モニターの電流到達距離の区間の最大孔食深さに相当する。

【0026】このため、複数個の局部腐食モニター及び対極チューブ間のアノード電流測定値から求まる  $r$  の値は統計的バラツキを示す。

【0027】従って、複数個の局部腐食モニターから求められる  $r$  の値から、極値統計の手法を用いて推定対象の熱交換器や配管の孔食深さの極値を求め、当該熱交換器又は配管の最大孔食深さを推定することにより、推定精度は大幅に改善される。

【0028】なお、極値統計に用いる試料の大きさは、局部腐食モニターの電流到達距離に等しくとり、再帰期間を算出する。

【0029】なお、極値統計とは、テストピース等の微小部分に表われた孔食等の現象に関して得られた複数のデータのバラツキに基いて、実配管等のより大きな系の現象を予測する統計学的手法である。

【0030】本発明の場合には、具体的には下記の手順をふむ。

(1) 試料(長さa m)のn個について最大孔食深さを測定する( $X_1, X_2, \dots, X_n$ )。

(2) 実機熱交換器又は配管の長さ(b m)を測定、又は調査する。

(3) データを確率統計処理することにより、全測定対象面積内に存在が期待される最大孔食深さ(極値:X<sub>max</sub>)を求める。

$$X_{max} = \lambda + \alpha \ln(b/a)$$

$$\lambda = \sum a_i X_i, \alpha = \sum b_i X_i$$

(ここで、 $a_i, b_i$ はMVLUE係数表で与えられる係数である。)

### 【0031】

【実施例】以下に実施例を挙げて本発明を具体的に説明する。

#### 【0032】実施例1

図1に示す試験装置を用いて試験を行なった。図1において、10は試験水槽(100リットル容)、12は補給水タンク(200リットル容)であり、補給水タンク12内の試験水はポンプ14Aを備える配管14を経て試験水槽10に送給される。16は試験水槽10のオーバーフロー管である。

【0033】1, 2, 3は試料チューブであり、それぞれ両端部にジョイント1A, 1B, 2A, 2B, 3A, 3Bを設け、試験水槽10内の試験水が循環されるように、ポンプ18A, バルブ18B, 流量計18Cを備える配管18及び配管20, 22, 24で直列に接続した。各試料チューブ1, 2, 3に設けた液溜部のうち、下流側のジョイント1B, 2B, 3Bに、それぞれ局部腐食モニターを設けた。各局部腐食モニターは、図2に示す構成とされている。即ち、各々、電極部が上向きとなるようにジョイント1B, 2B, 3Bに設けられた金属片等よりなるセンサ部1a, 2a, 3aと、このセンサ部1a, 2a, 3aと試料チューブ1, 2, 3とを連絡するリード線1b, 2b, 3bと、各リード線1b, 2b, 3bに設けられた電流計1c, 2c, 3cとで主に構成される。以下において、試料チューブ1に設けられた第1のモニター装置の測定データに①を付し、試料チューブ2に設けられた第2のモニター装置の測定データに②を付し、試料チューブ3に設けられた第3のモニター装置の測定データに③を付す。

【0034】なお、各試料チューブ1, 2, 3は、それぞれ、長さ1m、外径19mm、肉厚2mmのSTB-35製のものであり、予めトルエンで脱脂処理した後、ヘキサメタリン酸ソーダを全リン酸として100mg/1及び亜鉛塩を亜鉛として20mg/1含む防食剤を24時間通水して基礎処理を施した。

【0035】また、試験水は下記水質の水に、1-ヒドロキシエチリデン-1, 1-ジホスホン酸を全リン酸として7mg/1を配合してなる合成水である。

試験水水質

$$M\text{アルカリ度}=150\text{mg}\cdot\text{CaCO}_3/1$$

$$\text{カルシウム硬度}=250\text{mg}\cdot\text{CaCO}_3/1$$

$$\text{マグネシウム硬度}=100\text{mg}\cdot\text{MgCO}_3/1$$

$$\text{SiO}_2 \text{濃度}=100\text{mg}/1$$

このような試験装置により、流量計18Cで試料チューブ1, 2, 3内の流速が0.3m/secとなるように調整して、ポンプ18Aにより、試験水槽10内の試験水(水温30°C)を配管18、試料チューブ1、配管20、試料チューブ2、配管22、試料チューブ3及び配管24を経て循環させた。なお、試験水槽10には、補給水タンク12から、補給水(試験水と同水質)を滞留時間が120時間となるようにポンプ14Aで配管14より補給した。試験水槽10は補給水が入ると、オーバーフロー管16よりオーバーフローする構造とした。

【0036】このようにして各局部腐食モニターのリード線1b, 2b, 3bを流れるアノード電流をそれぞれ電流計1c, 2c, 3cで60日間にわたり測定した。測定結果を図3に示す。

【0037】また、上記測定結果から前記特開平2-310452号の方法に従って、アノード電流測定値を孔食モデル式に代入して求めた孔食深さ推定値を図4に示す。

【0038】一方、各モニターから得られた孔食深さの推定値を極値統計することにより最大孔食深さを算出した。極値統計は市販ソフト(腐食防食協会監修「EVA N」)を用いて計算した。この時の最大侵食量推定-Gumbel確率紙プロットは図5に示す通りである。

【0039】なお、各設定値を下記に示す。

y:二重指數最大値分布標準化変数

$$F(y) : 累積確率=e(-e(-y))$$

T:再帰期間

L1:1試料中の最大孔食量の推定分布直線

$$y=(X-\lambda)/\alpha$$

$$\lambda=0.17699$$

$$\alpha=0.09218$$

40 その結果、再帰期間T=30で、実機推定最大侵食量最頻値点値 $X_{max}=0.48896\text{mm}$ という値が得られた。

【0040】この値を、最大孔食深さの実測値(0.40mm)と共に図4にプロットした。また、各値の比較結果を表1に示す。

#### 【0041】

【表1】

7

8

推定法		推定値(mm)	実測値(mm)	推定値の誤差(%)
従来法	モニター①	0.135	0.40	-66.3
	モニター②	0.309		-22.8
	モニター③	0.239		-40.3
	①～③の平均値	0.228		-56.1
本発明法		0.489		22.3

※特開平2-310452号の方法

【0042】以上の結果から次のことが明らかである。即ち、特開平2-310452号の方法では、孔食深さの推定値は0.135～0.309mmとバラツキが大きく、最大孔食深さの実測値0.40mmに対して-66.3～-22.8%（平均-56.1%）と大きな誤差がある。

【0043】これに対して、本発明方法に従って、複数個（本実施例では3個）の局部腐食モニターのアノード電流測定値から求めた孔食深さの推定値を極値統計処理することにより得られる推定値は0.489mmであり、実測値0.40mmに対して+22.3%の小さい誤差で推定することができた。

#### 【0044】

【発明の効果】以上詳述した通り、本発明の孔食深さ算出方法によれば、熱交換器や配管の運転、通水を休止することなく、非破壊にて、該熱交換器や配管の局部腐食による孔食深さを、精度良く推定することが可能とされる。

【0045】本発明の方法によれば、孔食深さを正確に算出することで孔食の進行状況を当該設備の運転中にリアルタイムで容易かつ正確に推定することができるところから、

- ① 適宜薬剤の投入量をコントロールして局部腐食の進行を抑制できるようになる。
- ② 局部腐食の進行状況から、余寿命の推定が可能となる。

\*③ 運転停止時の検査が不要となる。

④ 局部腐食による貫通・漏えい事故を未然に防止できるようになる。

等の効果が奏され、各種プラントの安全かつ安定な操業、及び金属装置部材の寿命の延長を図ることが可能とされる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】実施例1における試験装置を示す断面図である。

【図2】従来のモニタリング方法を示す断面図である。

【図3】実施例1におけるアノード電流の測定値を示すグラフである。

【図4】実施例1における孔食深さの推定値及び実測値を示すグラフである。

【図5】極値統計確率紙プロットを示すグラフである。

#### 【符号の説明】

1, 2, 3 試料チューブ

30 1B, 2B, 3B ジョイント

1a, 2a, 3a センサ部

1b, 2b, 3b リード線

1c, 2c, 3c 電流計

10 試験水槽

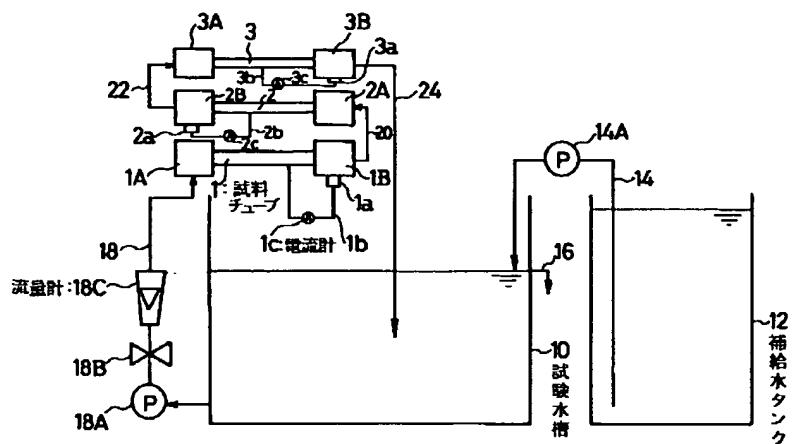
12 補給水タンク

14A, 18A ポンプ

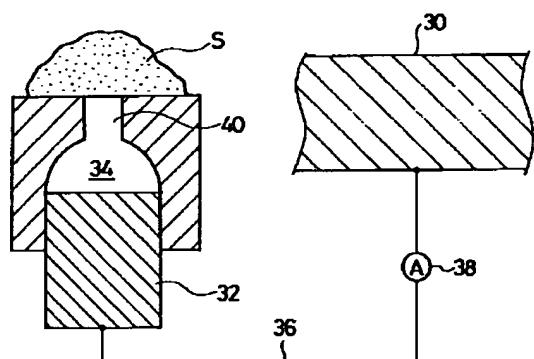
18C 流量計

\*

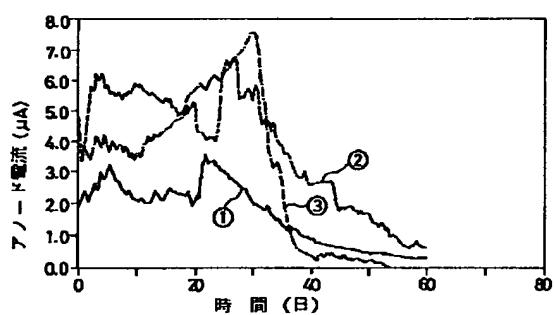
【图1】



【図2】



【図3】



(5)

【四】

